

T S6/5/1

6/5/1

DIALOG(R) File 351:Derwent WPI

(c) 2004 Thomson Derwent. All rts. reserv.

012795482 \*\*Image available\*\*

WPI Acc No: 1999-601712/199951

XRPX Acc No: N99-443607

**Projection exposure apparatus and reflection refraction optical system  
for photolithography of semiconductors**

Patent Assignee: NIKON CORP (NIKR )

Inventor: TAKAHASHI T; TSUKAMOTO H

Number of Countries: 021 Number of Patents: 004

Patent Family:

Patent No	Kind	Date	Applicat No	Kind	Date	Week
WO 9952004	A1	19991014	WO 99JP1807	A	19990406	199951 B
JP 11354436	A	19991224	JP 9998180	A	19990405	200011
JP 2000195772	A	20000714	JP 98369233	A	19981225	200039
EP 1079253	A1	20010228	EP 99912115	A	19990406	200113
			WO 99JP1807	A	19990406	

Priority Applications (No Type Date): JP 98369233 A 19981225; JP 98111506 A  
19980407

Patent Details:

Patent No Kind Lan Pg Main IPC Filing Notes

WO 9952004 A1 J 118 G02B-017/08

Designated States (National): US

Designated States (Regional): AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LU

MC NL PT SE

JP 11354436 A 12 H01L-021/027

JP 2000195772 A 28 H01L-021/027

EP 1079253 A1 E G02B-017/08 Based on patent WO 9952004

Designated States (Regional): AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI

LU MC NL PT SE

Abstract (Basic): WO 9952004 A1

NOVELTY - The projection exposure apparatus comprises an illumination optical system (3) impinging on a mask (4). The image of the mask pattern passes into a projection optical system (7), forming a final image on the sample (8). Light from the illumination system has a center wavelength below 180 nm. The projection optical system contains at least one concave mirror, maximum of 15 refraction lenses, and at least 4 aspherical surfaces.

DETAILED DESCRIPTION - An INDEPENDENT CLAIM is also included for a method of projection exposure using the apparatus.

USE - Photolithography of semiconductor samples.

DESCRIPTION OF DRAWING(S) - The diagram shows a schematic side view of the exposure apparatus.

Illumination optics (3)

Mask (4)

Projection optics (7)

Sample (8)

pp; 118 DwgNo 3/26

Title Terms: PROJECT; EXPOSE; APPARATUS; REFLECT; REFRACT; OPTICAL; SYSTEM;  
PHOTOLITHOGRAPHIC; SEMICONDUCTOR

Derwent Class: P81; P84; U11

International Patent Class (Main): G02B-017/08; H01L-021/027

International Patent Class (Additional): G02B-013/18; G02B-013/24;

G03F-007/20; G03F-007/207

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-354436

(43) 公開日 平成11年(1999)12月24日

(51) Int.Cl.<sup>8</sup>

識別記号

F I

H 0 1 L 21/027

H 0 1 L 21/30

5 1 5 D

G 0 2 B 17/08

G 0 2 B 17/08

A

G 0 3 F 7/20

5 2 1

G 0 3 F 7/20

5 2 1

審査請求 未請求 請求項の数14 O L (全 12 頁)

(21) 出願番号 特願平11-98180

(71) 出願人 000004112

株式会社ニコン

(22) 出願日 平成11年(1999)4月5日

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号

(31) 優先権主張番号 特願平10-111506

(72) 発明者 高橋 友刀

(32) 優先日 平10(1998)4月7日

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社ニコン内

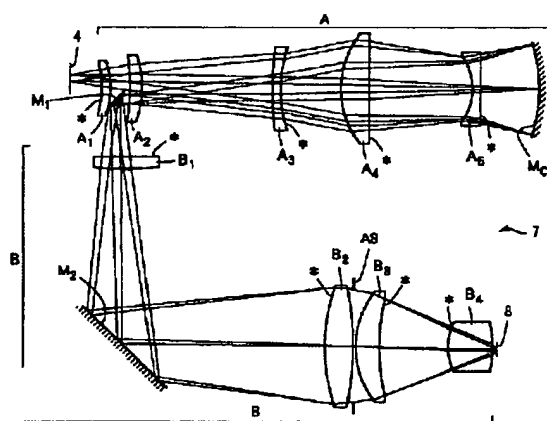
(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(54) 【発明の名称】 投影露光装置及び方法、並びに反射屈折光学系

(57) 【要約】

【課題】180nm以下の波長の露光光を用いる場合、高解像を達成しつつ光量損失の低下を最低限に抑えること

【解決手段】パターンが形成されたマスク(4)を照明するための照明光学系(1-3)と、マスクからの放射に基づいてパターンの像をワーク(8)上に形成するための投影光学系(7)とを有し、照明光学系は180nm以下の中心波長を有する照明光を供給し、投影光学系は、少なくとも1つの凹面鏡(MC)と、15枚以下の屈折レンズ(A1-A5, B1-B4)とを有し、且つ4面以上の非球面(\*)とを有する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】パターンが形成されたマスクを照明するための照明光学系と、

前記マスクからの放射に基づいて前記パターンの像をワーク上に形成するための投影光学系とを有し、

前記照明光学系は180nm以下の中心波長を有する照明光を供給し、

前記投影光学系は、少なくとも1つの凹面鏡と、15枚以下の屈折レンズとを有し、且つ4面以上の非球面とを有することを特徴とする投影露光装置。

【請求項2】前記屈折レンズは全て同一の材料によって形成されることを特徴とする請求項1記載の投影露光装置。

【請求項3】前記屈折レンズの前記材料は、蛍石であることを特徴とする請求項2記載の投影露光装置。

【請求項4】前記照明光学系が供給する前記照明光は、10pm以下の半値全幅を有することを特徴とする請求項2または3記載の投影露光装置。

【請求項5】前記屈折レンズは、蛍石を含むことを特徴とする請求項1記載の投影露光装置。

【請求項6】前記投影光学系は前記マスクの中間像を形成し、且つ前記マスクと前記中間像との間の光路中に配置される第1結像光学系と、前記中間像と前記ワークとの間の光路中に配置される第2結像光学系とを含み、前記第1及び第2結像光学系のうちの一方は前記少なくとも1つの凹面鏡を含み、他方は開口絞りを含むことを特徴とする請求項1乃至5の何れか一項記載の投影露光装置。

【請求項7】前記少なくとも1つの凹面鏡は前記第1結像光学系中に位置し、前記開口絞りは前記第2結像光学系中に位置することを特徴とする請求項6記載の投影露光装置。

【請求項8】前記第1結像光学系からの光束を前記第2光学系へ導く反射鏡を有することを特徴とする請求項7または8記載の投影露光装置。

【請求項9】前記非球面は、前記屈折レンズが有する2つのレンズ面のうちの一方のみに形成されることを特徴とする請求項1乃至8の何れか一項記載の投影露光装置。

【請求項10】照明光学系により所定のパターンが設けられたマスクを照明し、投影光学系により前記パターンの縮小像をワーク上に転写する投影露光装置において、第1の光軸に沿って配置された凹面反射鏡および屈折光学部材からなり、前記パターンの中間像を形成する第1結像光学系と、第2の光軸に沿って配置された屈折光学部材を有し、前記中間像の縮小像を前記ワーク上に形成する第2結像光学系と、前記第1結像光学系と前記第2結像光学系との間に配置された第1光路偏向部材と、

前記第1光路偏向部材と前記第2結像光学系との間に配置された第2光路偏向部材とを備え、

前記第1および第2の光軸は互いに平行であり、かつ前記第1および第2光路偏向部材の間には屈折光学部材が介在しないことを特徴とする投影露光装置。

【請求項11】前記縮小像は、前記パターン面に対して平行に形成され、

前記第1および第2の光軸は、重力方向と実質的に平行に位置決めされることを特徴とする請求項10記載の投影露光装置。

【請求項12】露光光によりマスクを照明し、該マスク上のパターンを投影光学系を介してワーク上に投影する露光方法において、

請求項1乃至11の何れか一項記載の投影露光装置を用いて前記マスク上の前記パターンの像を前記ワーク上に形成することを特徴とする露光方法。

【請求項13】凹面鏡を含む第1結像光学系によって、第1面の中間像を形成し、開口絞りを含む第2結像光学系によって、前記中間像の再結像を第2面上に形成し、前記第1結像光学系からの光束を前記第2結像光学系に導くように反射面を設けた反射屈折光学系において、該反射屈折光学系は、15枚以下の屈折レンズを有し、且つ4面以上の非球面を有することを特徴とする反射屈折光学系。

【請求項14】前記屈折レンズはすべて同一の硝材によって形成されていることを特徴とする、請求項11記載の反射屈折光学系。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、半導体素子、CCD等の撮像素子、液晶表示素子、または薄膜磁気ヘッド等のデバイスの製造ライン中のリソグラフィ工程に用いられる投影露光装置に関する。また、本発明は、このような投影露光装置の投影光学系として用いられる反射屈折光学系に関する。また、本発明は、リソグラフィ工程において、このような投影露光装置を用いた投影露光方法に関する。

## 【0002】

【従来の技術】近年、半導体の回路パターンはますます微細化しており、このパターンを焼き付ける露光装置にはより解像力の高いものが要求されてきている。この要求を満足するためには、光源の波長を短波長化しかつNA（光学系の開口数）を大きくしなければならない。

【0003】このため、近年においては、波長が180nm以下の露光光を用いることが提案されている。

## 【0004】

【発明が解決しようとする課題】波長が180nm以下の露光光を発する光源としては、例えば発振波長が157nmのF<sub>2</sub>レーザなどが存在するが、このような光源を用いた場合、次の問題を生じる。すなわち第1に、1

80 nm以下の波長の光束を透過するガラスは極端に少なくなり、第2に、反射防止膜に採用する適当な物質が少ないために、良好な反射防止膜を形成することが困難となる。そのため、各レンズ面での光の反射率が高くなるから、特にレンズ枚数が多くなる高解像の投影光学系では、光量の低下が激しくなる。

【0005】したがって本発明は、180 nm以下の波長の露光光を用いる場合、高解像を達成しつつ光量損失の低下を最低限に抑えることを目的とする。

【0006】

【課題を解決するための手段】本発明は、光量の低下をなるべく防ぐために、非球面を活用し、できるだけ使用するレンズの枚数を削減することにより、上記目的を達成したものである。すなわち本発明は、パターンが形成されたマスクを照明するための照明光学系と、前記マスクからの放射に基づいて前記パターンの像をワーク上に形成するための投影光学系とを有し、前記照明光学系は180nm以下の中心波長を有する照明光を供給し、前記投影光学系は、少なくとも1つの凹面鏡と、15枚以下の屈折レンズとを有し、且つ4面以上の非球面とを有することを特徴とする投影露光装置及び方法である。

【0007】また本発明は、凹面鏡を含む第1結像光学系によって、第1面の中間像を形成し、開口絞りを含む第2結像光学系によって、前記中間像の再結像を第2面上に形成し、前記第1結像光学系からの光束を前記第2結像光学系に導くように反射面を設けた反射屈折光学系において、該反射屈折光学系は、15枚以下の屈折レンズを有し、且つ4面以上の非球面を有することを特徴とする反射屈折光学系である。

【0008】また本発明は、照明光学系により所定のパターンが設けられたマスクを照明し、投影光学系により前記パターンの縮小像をワーク上に転写する投影露光装置であって、第1の光軸に沿って配置された凹面反射鏡および屈折光学部材からなり、前記パターンの中間像を形成する第1結像光学系と、第2の光軸に沿って配置された屈折光学部材を有し、前記中間像の縮小像を前記ワーク上に形成する第2結像光学系と、前記第1結像光学系と前記第2結像光学系との間に配置された第1光路偏向部材と、前記第1光路偏向部材と前記第2結像光学系との間に配置された第2光路偏向部材とを備え、前記第1および第2の光軸は互いに平行であり、かつ前記第1および第2光路偏向部材の間には屈折光学部材が介在しないことを特徴とする投影露光装置である。

【0009】

【発明の実施の形態】本発明は、波長が180 nm以下の露光光を用いることを前提としており、このような短波長域においては、光の吸収のため実用に耐える光学ガラスに限られてくる。このような場合、屈折光学系だけで投影光学系を構成したのでは、色収差補正がまったく不可能となる。従って要求される解像力を有し、しかも

屈折光学系のみで構成された投影光学系を作ることは、非常に難しいものとなる。

【0010】これに対して、反射系のみで投影光学系を構成することも試みられているが、この場合、投影光学系が大型化し、かつ反射面の非球面化が必要となる。しかるに高精度の非球面は製作の面で極めて困難である。そこで、本発明では、反射系と、使用波長に使える光学ガラスからなる屈折系とを組み合わせたいわゆる反射屈折光学系によって、縮小投影光学系を構成する技術を採用している。

【0011】およそ一般的にいて、球面レンズに代えて非球面レンズを用いると、収差補正の自由度が多くなり、使用レンズ枚数を削減することができる。すなわち、適切な場所での1面の非球面の使用は、確実に1種類の収差を部分的に補正することができるため、その分、使用するレンズ枚数を削減することができる。したがって、多くの非球面を使用することにより、それだけ多くの収差補正に効果があり、レンズ枚数も少なくて済むことになる。

【0012】しかし、無制限に多数の非球面を使用すれば良いと言うものでもなく、ある程度の面数に非球面を採用すると、次第に効果が薄れてくる。また、非球面は製造が困難であることも考慮すると、なるべく少ない枚数で、より高い効果を得ることが必要である。そのためには、適用場所を厳選することが避けられない。まず球面収差を補正するために、開口絞り付近に1面の非球面を採用し、次に歪曲収差を補正するために、第1面の近傍或いは中間像付近に1面採用する。さらに、コマ収差を補正するために、開口絞りと像との間に1面採用し、さらに、非点収差補正のために、第1面と凹面鏡との間に1面採用する。

【0013】このように、少なくとも4面の非球面を採用することにより、レンズ枚数を削減することができ、光量の低下を最低限にとどめることができる。あとに残る像面湾曲収差は、ベッツバール和をゼロにすることができるという反射屈折光学系の特徴により、完全に補正することができる。また色収差が少ないことも反射屈折光学系の特徴であるため、これですべての収差を良好に補正することができるのである。

【0014】以上のように、その目的に合った場所の少なくとも4箇所に、その目的に合った形状の非球面を配置することにより、ほとんどの収差を同時に補正することができる。こうして、後述する本発明の実施例にも示しているように、レンズ枚数が大幅に削減された、劇的に小型の投影光学系を得ることができる。すなわち本発明によれば、最小の非球面要素を使いながら、最大の効果を得ることができるのである。

【0015】もちろん、さらに4面を越えた追加の非球面を採用し、高次のコマ収差や非点収差のような残存収差を補正することも可能であり、これにより、さらにレ

レンズ枚数を削減することができる。さて、本発明が前提とする使用波長域では、使用可能なレンズ材料の種類が非常に限定されたものとなるため、製造コスト削減の観点では、屈折レンズは全て同一の材料によって形成されることが望ましい。

【0016】この場合において、使用可能なレンズ材料のなかでは、製造・入手の容易性や性能の観点に立つと、屈折レンズの前記材料は蛍石であることが好ましい。また、上述のように屈折レンズが全て同一の材料で構成される場合には、照明光学系が供給する照明光（露光光）は、10 $\mu$ m以下の半値全幅を有することが好ましい。

【0017】また、本発明の投影光学系は、マスクの中間像を形成し且つマスクと中間像との間の光路中に配置される第1結像光学系と、中間像と前記ワークとの間の光路中に配置される第2結像光学系とを含む構成とすることが好ましく、第1及び第2結像光学系のうちの一方は前記少なくとも1つの凹面鏡を含み、他方は開口絞りを含むことが好ましい。この場合において、開口絞りを含む結像光学系は屈折光学系で構成されること（或いは投影光学系が1つのみの凹面鏡を有すること）が好ましい。

【0018】近年においては、マスク上のパターンの種類に応じて、照明光学系の開口数NAと投影光学系の開口数NAの比である $\sigma$ 値を可変にすることが行われる。このとき、開口絞りを含む結像光学系が反射屈折光学系であると、有効な絞り設置部分がどこにも採れないことになる。また近年、投影光学系の瞳面またはその近傍に瞳フィルタを配置して超解像を行うことも提案されているが、開口絞りを含む結像光学系が反射屈折光学系であると、この瞳フィルタを配置することが不可能となる。

【0019】また、上述の構成において、少なくとも1つの凹面鏡は前記第1結像光学系中に位置し、開口絞りは前記第2結像光学系中に位置することが好ましい。この場合、第1結像光学系によって第1面の中間像を形成し、第2結像光学系によって中間像の再結像を第2面上に形成し、第1結像光学系からの光束を第2結像光学系へ導くように反射面を設け、第1結像光学系を、凹面鏡と該凹面鏡への入射光と反射光との双方が透過するレンズ群とからなる往復光学系を有するように形成した2回結像光学系となる。

【0020】このような2回結像光学系によれば、凹面鏡の径を縮小させることができ、投影光学系の開口数を可変にするために有効な絞り設置部分を確保でき、さらに光学系の明るさを十分にとりながら、なおかつウエハと対物レンズの端面との距離、いわゆるワーキングディスタンスを長く採ることが可能である。この構成に対して、凹面鏡で往復光路を形成している往復光学系を縮小側の第2面側に採用するタイプの反射屈折光学系では、光学系の必要な明るさを確保するためには、光束が広が

って凹面鏡に入射することになり、凹面鏡の小型化を図ることが困難になるため好ましくない。さらに、このタイプ（第2結像光学系が往復光学系であるタイプ）の光学系では、縮小倍率の関係から反射ミラーで反射した後ウエハまでの距離が長く採れないため、この光路中に挿入される対物レンズのレンズ枚数がそう多く採れず、そのため得られる光学系の明るさは限られたものとなざるを得ないため好ましくない。たとえ高NAの光学系が実現できても、限られた長さに多くの光学部材が挿入されるため、ウエハと対物レンズの端面との距離、いわゆるワーキングディスタンスWDが長く採れないため好ましくない。

【0021】上述のような2回結像光学系とする場合、凹面鏡で往復光路を形成している往復光学系中には、正屈折力を有するレンズが配置されることが好ましい。ここで、往復光学系中に負レンズのみが採用されると、光束が広がって凹面鏡へ入射することになり、凹面鏡の径が大きくなりすぎるため好ましくない。また、上述のような2回結像光学系とする場合、往復光学系は完全対称型とすると、第1面付近でのワーキングディスタンスの確保がしにくくなり、またハーフプリズム等を使用する必要が生じるため好ましくない。

【0022】また、本発明では、第1結像光学系からの光束を前記第2光学系へ導く反射鏡を有することが好ましい。2つの結像光学系を有する投影光学系においては、光路の光軸を途中で偏心（光路の折り曲げ）させることが多いが、上述のように構成すると、そのいわゆる偏心光学系の偏心部分（光路の折り曲げ部分）の調整作業を容易とすることができ、高精度な系の実現が容易となる。

【0023】さて、本発明における少なくとも4面の非球面は、屈折レンズが有する2つのレンズ面のうちの一方のみに形成される、すなわち片側非球面レンズとすることが好ましい。これにより、非球面レンズの製造や、この非球面レンズの投影光学系への組み込み調整作業が容易となる利点がある。さて、反射面の高精度な非球面化は製作の面で極めて困難であるため、本発明における少なくとも4面の非球面は、15枚以下の屈折レンズの何れかに設けることが好ましい。

【0024】また、本発明の別の局面では、照明光学系により所定のパターンが設けられたマスクを照明し、投影光学系により前記パターンの縮小像をワーク上に転写する投影露光装置であって、第1の光軸に沿って配置された凹面反射鏡および屈折光学部材からなり、前記パターンの中間像を形成する第1結像光学系と、第2の光軸に沿って配置された屈折光学部材を有し、前記中間像の縮小像を前記ワーク上に形成する第2結像光学系と、前記第1結像光学系と前記第2結像光学系との間に配置された第1光路偏向部材と、前記第1光路偏向部材と前記第2結像光学系との間に配置された第2光路偏向部材と

を備える構成を基本とし、前記第1および第2の光軸は互いに平行であり、かつ前記第1および第2光路偏向部材の間には屈折光学部材が介在しないものである。このように構成すると、光路偏向部材を有する投影光学系であっても、その内部の全てのレンズ成分を光軸が互いに平行となるように保持できる。これにより、レンズ成分において光軸に対して非対称に変形することをほぼ防止でき、投影光学系の開口数の増大や露光領域の増大に伴って光学部材の大型化が図られても、製造時に補正することが困難な非対称収差の発生を防ぐことが可能となる。

【0025】なお、上記構成において、前記縮小像は、前記パターン面に対して平行に形成され、前記第1および第2の光軸は、重力方向と実質的に平行に位置決めされることが好ましい。以下、図面を参照して本発明の実施例を説明する。図1は、本発明の実施例にかかる投影露光装置の全体構成の一例を概略的に示す図である。なお、図1において、ウエハ面の法線方向にZ軸を、ウエハ面内において図1の紙面に平行にX軸を、紙面に垂直にY軸を設定している。また、図1において、重力方向はZ軸と同じ方向である。

【0026】図示の投影露光装置において、F<sub>2</sub>レーザ（発振中心波長157nm）1からX方向に射出された光は、折り曲げミラー2でZ方向に偏向された後、照明光学系3を介して投影原版としてのマスク4を均一に照明する。なお、図1では、光源1から照明光学系3までの光路に1枚の折り曲げミラー2しか図示していないが、実際には、光源1と投影露光装置本体とが別体である場合に、光源1からのF<sub>2</sub>レーザ光の向きを常に投影露光装置本体へ向ける自動追尾ユニットや、光源1からのF<sub>2</sub>レーザ光の光束断面形状を所定のサイズ・形状に整形するための整形光学系、光量調整部などの光学系が配置される。また、図3に示した照明光学系3は、例えばフライアイレンズや内面反射型インテグレートからなり所定のサイズ・形状の面光源を形成するオブティカルインテグレートや、マスク4上での照明領域のサイズ・形状を規定するための視野絞り、この視野絞りの像をマスク上へ投影する視野絞り結像光学系などの光学系を有している。図1の例では、光源1と照明光学系3との間はケーシングC1で密封されており、光源1から照明光学系3中の最もマスクR側の光学部材までの空間はヘリウムガスなどの不活性ガスで置換されている。なお、光路の折り曲げ方は図1に示される態様には限られず、装置の設計に合わせて適宜変更可能であることは言うまでもない。

【0027】マスク4は、マスクホルダ5を介して、マスクステージ6上においてXY平面に平行に保持されている。マスク4には転写すべきパターンが形成されており、パターン領域全体のうちY方向に沿って長辺を有し且つX方向に沿って短辺を有する矩形形状のパターン領域

が照明される。マスクステージ6は、図示を省略した駆動系の作用によりマスク面（すなわちXY平面）に沿って二次元的に移動可能であり、その位置座標はマスク移動鏡11を用いた干渉計12によって計測され且つ位置制御されるように構成されている。

【0028】マスク4に形成されたパターンからの光は、投影光学系7を介して、感光性基板（ワーク）であるウエハ8上にマスクパターン像を形成する。ウエハ8は、ウエハホルダ9を介して、ウエハステージ10上においてXY平面に平行に保持されている。そして、マスク4上での矩形形状の照明パターン領域に光学的に対応するように、ウエハ8上においてもY方向に沿って長辺を有し且つX方向に沿って短辺を有する矩形形状の露光領域にパターン像が形成される。

【0029】ウエハステージ10は、図示を省略した駆動系の作用によりウエハ面（すなわちXY平面）に沿って二次元的に移動可能であり、その位置座標はウエハ移動鏡13を用いた干渉計14によって計測され且つ位置制御されるように構成されている。また、図示の投影露光装置では、投影光学系7の内部が気密状態を保つように構成され、投影光学系7の内部の気体は露光光の吸収率が低い気体としてヘリウムガスで置換されている。同様に、光源1から照明光学系3までの光路もヘリウムガスで置換されている。

【0030】そして、照明光学系3と投影光学系7との間には、マスク4及びマスクステージ6が配置されるが、これらマスク4及びマスクステージ6を密封包囲するケーシングC2の内部に窒素やヘリウムガスなどの不活性ガスを充填することにより、上記照明光学系3と投影光学系7との間の光路が不活性ガスで置換される。また、投影光学系7とウエハ8との間の狭い光路には、ウエハ8及びウエハステージ10などが配置されるが、これらウエハ8及びウエハステージ10を密封包囲するケーシングC3の内部に窒素やヘリウムガスなどの不活性ガスを充填することにより、投影光学系7とウエハ8との間の狭い光路が不活性ガスで置換される。

【0031】投影光学系7によって規定されるマスク4上の視野領域（照明領域）およびウエハ8上の投影領域（露光領域）は、X方向に沿って短辺を有する矩形形状である。したがって、駆動系および干渉計（12、14）などを用いてマスク4およびウエハ8の位置制御を行いながら、矩形形状の露光領域および照明領域の短辺方向すなわちX方向に沿ってマスクステージ6とウエハステージ10とを、ひいてはマスク4とウエハ8とを同期的に走査させることにより、ウエハ8上には露光領域の長辺に等しい幅を有し且つウエハ8の走査量に応じた長さを有する領域に対してマスクパターンが走査露光される。このように、本実施例では、マスク面とウエハ面とが平行であり、その走査方向が水平方向になるように設定されている。

【0032】図2及び図5は、図1の投影露光装置の投影光学系としての反射屈折光学系の第1及び第2実施例を示す。両実施例の反射屈折光学系は、第1面であるマスク（レチクル）4上の回路パターンを、第2面であるウエハ8上に縮小転写する投影光学系に本発明を適用したものである。この投影光学系は、マスク4上のパターンの中間像を形成する第1結像光学系Aと、中間像の再結像をウエハ8上に形成する第2結像光学系Bとからなる。第1結像光学系Aは凹面鏡M<sub>c</sub>を有し、第2結像光学系Bは開口絞りASを有する。中間像の近傍には、第1結像光学系Aからの光束を第2結像光学系Bへ導くように、光軸を90°折曲げる第1の反射面M<sub>1</sub>が設けられている。また、第1の反射面M<sub>1</sub>と開口絞りASとの間には、レチクルR上での光軸とウエハ8上での光軸が平行となるように、光軸を更に90°折曲げる第2の反射面M<sub>2</sub>が設けられている。但し、第2の反射面M<sub>2</sub>は設けなくとも良い。

【0033】第1実施例と第2実施例の主要諸元は、次の通りである。

使用波長：157nm（F<sub>2</sub>レーザー）

倍率：1/4

像側開口数：0.6

最大像高：13.2mm

この投影光学系は、凹面鏡M<sub>c</sub>に至る光束と凹面鏡M<sub>c</sub>からの光束とを第1の反射面M<sub>1</sub>によって分離しており、したがってマスク4上及びウエハ8上で光軸を含む領域は使用領域とはならない。すなわち、光軸を含まないスリット状の領域がマスク4の照明領域となり、且つウエハ8の露光領域となっている。そしてスリット状の使用領域をスリットの短手方向に走査することにより、走査方向に長い範囲のマスクパターンの像をウエハ8上に転写するものである。

【0034】したがって、ウエハ8上の露光領域を例えば4.6×20mmの長方形とするときには、像高をYとして、Y=4.0～13.2mmの範囲が使用され、露光領域を5×20mmとするときには、Y=3.6～13.2mmの範囲が使用され、露光領域を5.6×20mmとするときには、Y=3.0～13.2mmの範囲が使用されることとなる。

【0035】但し、スリットの形状は、必ずしも長方形である必要はなく、任意の直線又は曲線（例えば円弧）を、走査方向に移動したときに塗りつぶされる領域の形状とすることができる。図2に示す第1実施例の第1結像光学系Aは、マスク4側に凹面を向けたメニスカス負レンズA<sub>1</sub>と、マスク4側に凹面を向けたメニスカス正レンズA<sub>2</sub>と、凹面鏡M<sub>c</sub>側に凹面を向けたメニスカス負レンズA<sub>3</sub>と、両凸レンズA<sub>4</sub>と、両凹レンズA<sub>5</sub>と、凹面鏡M<sub>c</sub>からなる。第1の反射面M<sub>1</sub>は、レンズA<sub>1</sub>とA<sub>2</sub>との間に配置されている。

【0036】第2結像光学系Bは、第1の反射面M<sub>1</sub>側

に凹面を向けたメニスカス正レンズB<sub>1</sub>と、両凸レンズB<sub>2</sub>と、ウエハ8側に凹面を向けたメニスカス正レンズB<sub>3</sub>と、両凸レンズB<sub>4</sub>とからなる。第2の反射面M<sub>2</sub>は、レンズB<sub>1</sub>とB<sub>2</sub>との間に配置されており、開口絞りASは、レンズB<sub>2</sub>とB<sub>3</sub>との間に配置されている。このうち、レンズA<sub>1</sub>のマスク側レンズ面r<sub>1</sub>と、レンズA<sub>3</sub>の凹面鏡側レンズ面r<sub>6</sub>と、レンズA<sub>4</sub>の凹面鏡側レンズ面r<sub>8</sub>と、レンズA<sub>5</sub>の凹面鏡側レンズ面r<sub>10</sub>と、レンズB<sub>1</sub>の第1面r<sub>21</sub>と、レンズB<sub>2</sub>の第1面r<sub>24</sub>と、レンズB<sub>3</sub>の第2面r<sub>28</sub>と、レンズB<sub>4</sub>の第1面r<sub>29</sub>が、非球面に形成されている。図2において、\*印が非球面を表す。すなわち都合8面の非球面を採用することにより、使用レンズ枚数がわずか9枚となり、球面レンズのみを使用した投影光学系の使用レンズ枚数の約1/3にまで低減している。

【0037】図5に示す第2実施例の第1結像光学系Aは、マスク4側に凹面を向けたメニスカス負レンズA<sub>1</sub>と、両凸レンズA<sub>2</sub>と、凹面鏡M<sub>c</sub>側に凹面を向けたメニスカス正レンズA<sub>3</sub>と、マスク4側に凹面を向けたメニスカス正レンズA<sub>4</sub>と、両凹レンズA<sub>5</sub>と、両凸レンズA<sub>6</sub>と、両凹レンズA<sub>7</sub>と、凹面鏡M<sub>c</sub>からなる。第1の反射面M<sub>1</sub>は、レンズA<sub>1</sub>とA<sub>2</sub>との間に配置されており、第1の反射面M<sub>1</sub>に引き続いて第2の反射面M<sub>2</sub>が配置されている。

【0038】第2結像光学系Bは、ウエハ8側に凹面を向けたメニスカス正レンズB<sub>1</sub>と、両凸レンズB<sub>2</sub>と、ウエハ8側に凹面を向けた2枚のメニスカス正レンズB<sub>3</sub>、B<sub>4</sub>と、ウエハ8側に凹面を向けたメニスカス負レンズB<sub>5</sub>と、両凸レンズB<sub>6</sub>とからなる。開口絞りASは、レンズB<sub>2</sub>とB<sub>3</sub>との間に配置されている。ここで、第1結像光学系A中の全てのレンズ成分A<sub>1</sub>～A<sub>7</sub>と凹面鏡M<sub>c</sub>とは第1の光軸に沿って共軸に配置され、第2結像光学系B中の全てのレンズ成分B<sub>1</sub>～B<sub>6</sub>とは、上記第1の光軸と平行な第2の光軸に沿って配置されている。これら第1および第2の光軸は、図1におけるZ軸と平行である。

【0039】さて、レンズA<sub>3</sub>の凹面鏡側レンズ面r<sub>6</sub>と、レンズB<sub>1</sub>の第1面r<sub>30</sub>と、レンズB<sub>3</sub>の第2面r<sub>36</sub>と、レンズB<sub>5</sub>の第2面r<sub>40</sub>が、非球面に形成されている。すなわち都合4面の非球面を採用することにより、使用レンズ枚数がわずか13枚となり、球面レンズのみを使用した投影光学系の使用レンズ枚数の約1/2にまで低減している。

【0040】なお、上記両実施例では、レンズ面のみを非球面としているが、反射面M<sub>1</sub>、M<sub>2</sub>を非球面とすることも出来る。以下の表1及び表2に、それぞれ第1及び第2実施例の諸元を示す。各表の〔光学部材諸元〕中、第1欄Noはマスク4側からの各光学面の番号、第2欄rは各光学面の曲率半径、第3欄dは各光学面から次の光学面までの光軸上の間隔、第4欄は各光学面又は光学

部材の番号を示す。なお第3欄dは、1回反射するたびに符号を反転して表示している。

【0041】各実施例とも、すべてのレンズの硝材は蛍石( $\text{CaF}_2$ )である。 $\text{CaF}_2$ の使用波長(157nm)での屈折率は、1.56000としている。また第1欄No中\*印を付した光学面は非球面を示し、非球面についての第2欄rは、頂点曲率半径である。非球面の形状は、

【0042】

【数1】ただし、

[光学部材諸元]

No	r	d	
0	$\infty$	83.472420	4
* 1	-231.87193	20.000000	A <sub>1</sub>
2	-244.79824	50.000000	
3	-513.72470	30.000000	A <sub>2</sub>
4	-258.44409	326.710153	
5	1231.09312	20.000000	A <sub>3</sub>
* 6	360.37184	153.952382	
7	247.93778	70.000000	A <sub>4</sub>
* 8	-3176.57963	258.163716	
9	-160.72124	20.000000	A <sub>5</sub>
* 10	47747.21102	142.114876	
11	-465.25991	-142.114876	M <sub>C</sub>
* 12	47747.20963	-20.000000	A <sub>6</sub>
13	-160.72124	-258.163716	
* 14	-3176.57963	-70.000000	A <sub>4</sub>
15	247.93778	-153.952382	
* 16	360.37184	-20.000000	A <sub>3</sub>
17	1231.09312	-326.710153	
18	-258.44409	-30.000000	A <sub>2</sub>
19	-513.72470	-7.000000	
20	$\infty$	175.000000	M <sub>1</sub>
* 21	-4661.49096	30.000000	B <sub>1</sub>
22	-698.03846	447.687777	
23	$\infty$	-498.922351	M <sub>2</sub>
* 24	-411.54200	-70.000000	B <sub>2</sub>
25	816.05499	-3.000000	
26	—	-5.000000	A S
27	-221.06022	-60.000000	B <sub>3</sub>
* 28	-586.68226	-173.028510	
* 29	-141.10262	-104.386800	B <sub>4</sub>
30	772.99694	-14.234034	
31	$\infty$		8

[非球面データ]

No=1	A = $0.777914 \times 10^{-8}$	B = $0.267640 \times 10^{-12}$
	C = $0.749968 \times 10^{-17}$	D = $0.170456 \times 10^{-21}$
No=6(16)	A = $-0.161751 \times 10^{-8}$	B = $-0.421807 \times 10^{-13}$
	C = $0.355946 \times 10^{-18}$	D = $0.665954 \times 10^{-23}$
No=8(14)	A = $0.206937 \times 10^{-8}$	B = $0.395989 \times 10^{-13}$

y : 光軸からの高さ

z : 接平面から非球面までの光軸方向の距離

r : 頂点曲率半径

$\kappa$  : 円錐係数

A、B、C、D : 非球面係数

によって表わしており、[非球面データ]に非球面係数A、B、C、Dを示した。円錐係数 $\kappa$ の値は、いずれの非球面も $\kappa = 0.0$ である。

【0043】

【表1】



	$C = -0.856301 \times 10^{-19}$	$D = -0.286013 \times 10^{-23}$
$N_o = 10(12)$	$A = -0.199929 \times 10^{-8}$	$B = 0.348648 \times 10^{-13}$
	$C = 0.335332 \times 10^{-18}$	$D = 0.286698 \times 10^{-22}$
$N_o = 21$	$A = -0.126585 \times 10^{-7}$	$B = -0.159095 \times 10^{-12}$
	$C = -0.132303 \times 10^{-17}$	$D = -0.213107 \times 10^{-22}$
$N_o = 24$	$A = 0.387097 \times 10^{-8}$	$B = 0.124414 \times 10^{-13}$
	$C = 0.795736 \times 10^{-19}$	$D = -0.948948 \times 10^{-24}$
$N_o = 28$	$A = -0.320229 \times 10^{-8}$	$B = 0.180878 \times 10^{-13}$
	$C = -0.925279 \times 10^{-20}$	$D = -0.800264 \times 10^{-23}$
$N_o = 29$	$A = 0.320579 \times 10^{-7}$	$B = 0.265320 \times 10^{-11}$
	$C = 0.183993 \times 10^{-15}$	$D = 0.751169 \times 10^{-20}$

【0044】

【表2】

〔光学部材諸元〕

$N_o$	$r$	$d$	
0	$\infty$	52.408660	4
1	-377.54368	20.000000	$A_1$
2	-709.61847	66.700681	
3	247.34124	30.000000	$A_2$
4	-943.28430	0.081000	
5	251.77574	30.000000	$A_3$
* 6	1233.12732	60.735167	
7	-316.07403	30.000000	$A_4$
8	-279.83058	14.320073	
9	-641.14096	11.809800	$A_5$
10	129.96846	276.475471	
11	434.42877	40.000000	$A_6$
12	-468.82151	103.196386	
13	-224.16905	12.000000	$A_7$
14	704.94761	30.977827	
15	-320.24325	-30.977827	$M_c$
16	704.94761	-12.000000	$A_7$
17	-224.16905	-103.196386	
18	-468.82151	-40.000000	$A_6$
19	434.42877	-276.475471	
20	129.96846	-11.809800	$A_5$
21	-641.14096	-14.320073	
22	-279.83058	-30.000000	$A_4$
23	-316.07403	-60.735167	
* 24	1233.12732	-30.000000	$A_3$
25	251.77574	-0.081000	
26	-943.28430	-30.000000	$A_2$
27	247.34124	3.000000	
28	$\infty$	325.000000	$M_1$
29	$\infty$	-74.935940	$M_2$
31	-1292.53566	-359.132456	
32	-218.22714	-40.000000	$B_2$
33	6480.13829	-3.000000	
34	—	-5.000000	$A_S$
35	-191.90312	-25.000000	$B_3$
* 36	-411.42156	-93.480977	

37	-151.40359	-35.000000	$B_4$
38	-1731.60232	-0.100000	
39	-199.23988	-15.000000	$B_5$
*40	-95.56739	-3.000000	
41	-85.50345	-56.459841	$B_6$
42	772.99694	-12.890860	
43	$\infty$		8

[非球面データ]

$N_o=6(24)$	$A = 0.112095 \times 10^{-7}$	$B = 0.256500 \times 10^{-13}$
	$C = 0.415931 \times 10^{-17}$	$D = 0.129399 \times 10^{-22}$
$N_o=30$	$A = 0.147271 \times 10^{-8}$	$B = 0.163160 \times 10^{-13}$
	$C = 0.300473 \times 10^{-18}$	$D = -0.529681 \times 10^{-23}$
$N_o=36$	$A = -0.110105 \times 10^{-7}$	$B = -0.285259 \times 10^{-14}$
	$C = -0.428853 \times 10^{-18}$	$D = 0.122213 \times 10^{-21}$
$N_o=40$	$A = 0.284655 \times 10^{-7}$	$B = 0.259172 \times 10^{-11}$
	$C = 0.328472 \times 10^{-15}$	$D = -0.680232 \times 10^{-19}$

図3に第1実施例の球面収差、非点収差及び歪曲収差を示し、図4に第1実施例の横収差を示す。同様に図6と図7に第2実施例の諸収差を示す。各収差図においてNは像側開口数を表し、Yは像高を表す。また非点収差図中、点線Mはメリジオナル像面を表し、実線Sはサジタル像面を表す。各図より明らかなように、157nmの単波長において、各実施例ともほぼ無収差に近い状態まで良好に補正された優れた性能を有することが分かる。

【0045】さて、 $F_2$ レーザの半値全幅(FWHM)は自然発振で(狭帯化なしで)1~1.5 $\mu\text{m}$ 程度の狭い波長幅であるため、わずかの狭帯化または狭帯化をしないで用いることができる。以下の図8に、本発明の実施例が $\pm 0.5\mu\text{m}$ (幅1 $\mu\text{m}$ )の範囲で色収差補正を達成していることを示す。なお、157nm付近における $\text{CaF}_2$ の屈折率は、+1 $\mu\text{m}$ の波長変化あたり $-2.4 \times 10^{-6}$ の割合で変化し、-1 $\mu\text{m}$ の波長変化あたり+ $2.4 \times 10^{-6}$ の割合で変化する。従って、基準波長での $\text{CaF}_2$ の屈折率が1.5600000とすると、基準波長+0.5 $\mu\text{m}$ の波長では、1.5599988となり、基準波長-0.5 $\mu\text{m}$ の波長では、1.5600012となる。図8において、Yは像高を表し、xは基準波長+0.5 $\mu\text{m}$ での収差曲線、yは基準波長での収差曲線、zは基準波長-0.5 $\mu\text{m}$ での収差曲線を表す。

【0046】図8より明らかなように、本発明の実施例にかかる反射屈折光学系は、少なくとも1 $\mu\text{m}$ の範囲で色収差補正が達成されていることが分かる。なお、さらなる最適化を行えば、10 $\mu\text{m}$ の波長幅の範囲で色収差補正を達成することが可能である。また、上記第2実施例では、第1光路偏向部材としての平面鏡 $M_1$ と第2光路偏向部材としての平面鏡 $M_2$ との間にレンズ成分が介在しない、すなわち重力方向に対して非平行な光軸を有するレンズ成分が存在しない。従って、レンズ成分および凹面鏡においては、重力による非対称な変形を招か

ず、投影光学系の大開口数化や大露光領域化を図っても結像性能の劣化を十分に抑えることができる。

【0047】また、上述の各実施例では、投影光学系中の屈折性の光学部材(屈折レンズ)の材料として $\text{CaF}_2$ (フッ化カルシウム)を使用しているが、この $\text{CaF}_2$ に加えて、あるいは $\text{CaF}_2$ に代えて、例えばフッ化バリウム( $\text{BaF}$ )、フッ化リチウム( $\text{LiF}$ )、フッ化マグネシウム( $\text{MgF}$ )、リチウム・カルシウム・アルミニウム・フッライド( $\text{LiCaAlF}_6$ )、およびリチウム・ストロンチウム・アルミニウム・フッライド( $\text{LiSrAlF}_6$ )などのフッ化物の結晶材料やフッ素がドーパされた石英を使用しても良い。但し、マスクを照明する照明光において十分な狭帯化が可能であるならば、投影光学系は単一種類の光学材料で構成することが好ましい。さらに、投影光学系の製造のし易さや製造コストを考えると、投影光学系は $\text{CaF}_2$ のみで構成されることが好ましい。

【0048】なお、上述の各実施例では、光源からウエハへ至る光路をヘリウムガスで置換しているが、光路の一部あるいは全部を窒素( $\text{N}_2$ )ガスで置換しても良い。さらに、上述の各実施例では、光源として $F_2$ レーザを用いているが、その代わりに、157nmに発振スペクトルを持つYAGレーザなどの固体レーザの高調波を用いるようにしても良い。また、DFB半導体レーザまたはファイバーレーザから発振される赤外域または可視域の単一波長レーザ光を、例えばエルビウム(またはエルビウムとイットリビウムとの両方)がドーパされたファイバーアンプで増幅し、非線形光学結晶を用いて紫外光に波長変換した高調波を用いても良い。

【0049】例えば、単一波長レーザ光の発振波長を1.51~1.59 $\mu\text{m}$ の範囲内とすると、発生波長が151~159nmの範囲内である10倍高調波が出力される。特に発振波長を1.57~1.58 $\mu\text{m}$ の範囲内とすると、発生波長が157~158nmの範囲内の

10倍高調波、すなわちF<sub>2</sub> レーザ光とほぼ同一波長となる紫外光が得られる。また、発振波長を1.03～1.12μmの範囲内とすると、発生波長が147～160nmの範囲内である7倍高調波が出力され、特に発振波長を1.099～1.106μmの範囲内とすると、発生波長が157～158μmの範囲内の7倍高調波、すなわちF<sub>2</sub> レーザ光とほぼ同一波長となる紫外光が得られる。なお、単一波長発振レーザとしては、イトリビウム・ドープ・ファイバーレーザを用いる。

【0050】このように、レーザ光源からの高調波を使用する場合には、この高調波自体が十分に狭帯化されたスペクトル幅（例えば0.01pm程度）であるので、上述の各実施例の光源1の代わりに用いることができる。また、上述の各実施例では、真空紫外域（VUV）の光を発振する光源としてF<sub>2</sub>レーザを用いているが、その代わりに、Kr<sub>2</sub>レーザ（波長146nm）やKrArレーザ（波長134nm）、Ar<sub>2</sub>レーザ（波長126nm）などの真空紫外域（VUV）の光を発振するVUVレーザを用いても良い。なお、Kr<sub>2</sub>レーザを用いる場合には、光路を置換するガスとして窒素は用いずにヘリウムを用いる。また、KrArレーザやAr<sub>2</sub>レーザを用いる場合には、屈折レンズを構成する材料として、フッ化リチウム（LiF）、リチウム・カルシウム・アルミニウム・フッライド（LiCaAlF<sub>6</sub>）、およびリチウム・ストロンチウム・アルミニウム・フッライド（LiSrAlF<sub>6</sub>）のうちの少なくとも1種の材料を用いる。

【0051】さて、本発明は、ウエハ上の1つのショット領域へマスクパターン像を一括的に転写した後に、投影光学系の光軸と直交する面内でウエハを逐次二次元的に移動させて次のショット領域にマスクパターン像を一括的に転写する工程を繰り返すステップ・アンド・リピート方式（一括露光方式）や、ウエハの各ショット領域への露光時にマスクとウエハとを投影光学系に対して投影倍率βを速度比として同期走査するステップ・アンド・スキャン方式（走査露光方式）の双方に適用することができる。なお、ステップ・アンド・スキャン方式では、スリット状（細長い矩形状）の露光領域内で良好な結像特性が得られればよいので、投影光学系を大型化することなく、ウエハ上のより広いショット領域に露光を行うことができる。

【0052】ところで、上述の各実施例では、投影光学系の縮小倍率|β|を1/4としているが、縮小倍率は1/4に限られることなく、例えば1/4～1/6の範囲内で最適なものを選択できる。さらに本発明では、投影光学系は縮小系に限定されることなく等倍系または拡大系（例えば液晶ディスプレイ製造用露光装置など）を用いても良い。

【0053】そして、半導体素子の製造に用いられる露光装置だけでなく、液晶表示素子などを含むディスプレ

イの製造に用いられる、デバイスパターンをガラスプレート上に転写する露光装置、薄膜磁気ヘッドの製造に用いられる、デバイスパターンをセラミックウエハ上に転写する露光装置、撮像素子（CCDなど）の製造に用いられる露光装置などにも本発明を適用することができる。また、レチクルまたはマスクを製造するためにガラス基板またはシリコンウエハなどに回路パターンを転写する露光装置にも、本発明を適用することができる。

【0054】なお、本発明は上述の実施の形態に限定されることなく、本発明の要旨を逸脱しない範囲で種々の構成を取り得ることは勿論である。

【0055】

【発明の効果】以上のように、その目的に合った場所の少なくとも4箇所、その目的に合った形状の非球面を配置することにより、ほとんどすべての収差を同時に補正することができる。その結果、最終的には、レンズ枚数を大幅に削減した、劇的に小型の反射屈折光学系を得ることができる。従って、180nm以下の波長の露光光を用いる場合であっても高解像を達成しつつ光量損失の低下を最低限に抑えることが可能である。本発明の反射屈折光学系を投影露光装置に適用すれば、サブミクロン単位以下の分解能のもとでパターンをワーク（ウエハ）へ高いスループットのもとで転写することが可能である。

【0056】このように本発明によれば、最小の非球面要素を使いながら、最大の効果を得ることができるのである。もちろん、4面を越えてさらに非球面を追加して使用することにより、さらに小型で、レンズ枚数の少ない反射屈折光学系を得ることも可能である。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明による投影露光装置の実施形態を示す模式図

【図2】本発明による反射屈折光学系の第1実施例を示す断面図

【図3】第1実施例の球面収差、非点収差及び歪曲収差図

【図4】第1実施例の横収差図

【図5】第2実施例を示す断面図

【図6】第2実施例の球面収差、非点収差及び歪曲収差図

【図7】第2実施例の横収差図

【図8】第2実施例の複数波長での横収差図

【符号の説明】

4…マスク（レチクル）

8…ウエハ

A…第1結像光学系

B…第2結像光学系

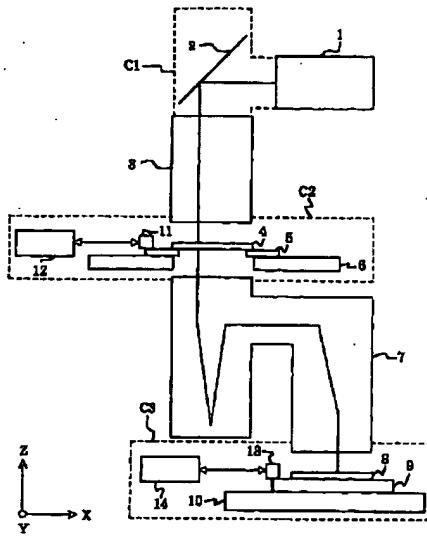
A<sub>1</sub>～B<sub>6</sub>…レンズ

\*…非球面

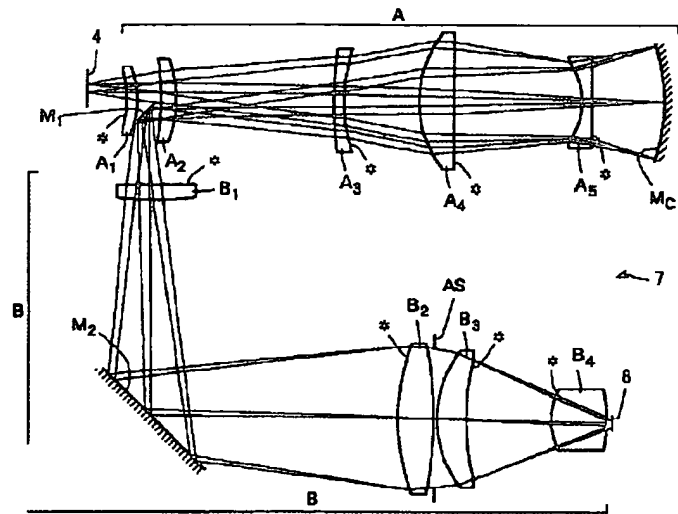
M<sub>c</sub>…凹面鏡

$M_1$ 、 $M_2$  …反射鏡  
AS…開口絞り

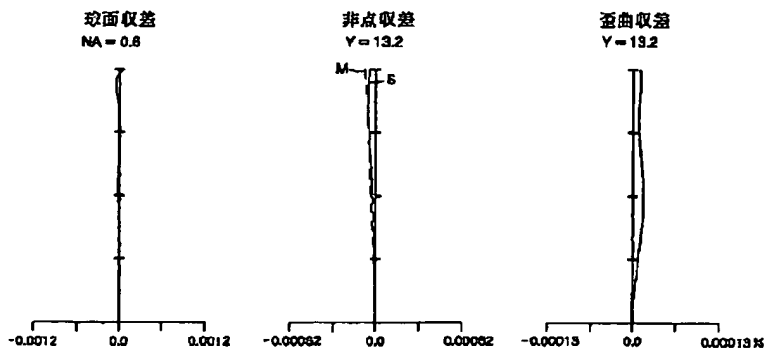
【図1】



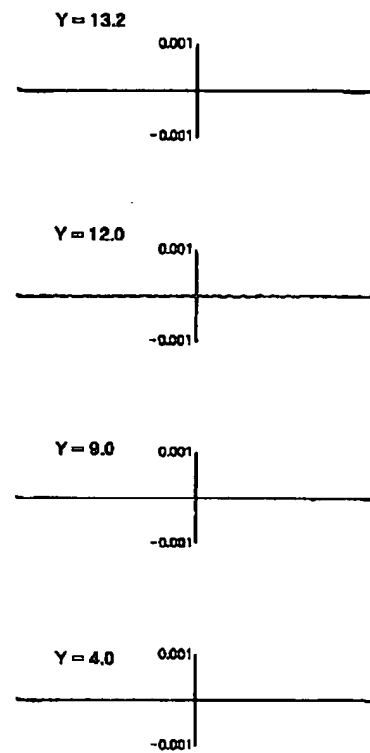
【図2】



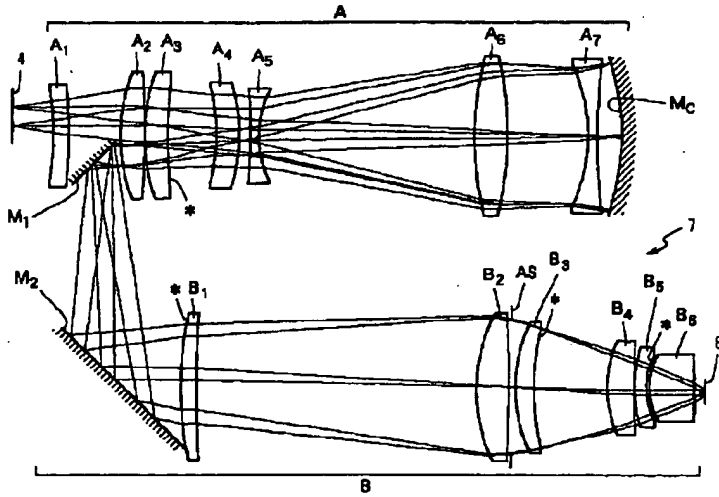
【図3】



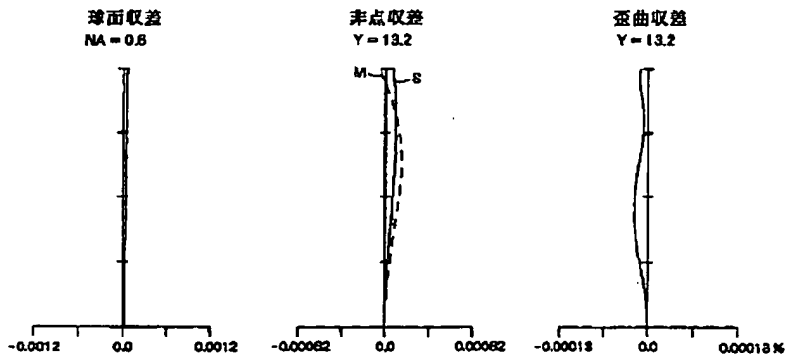
【図4】



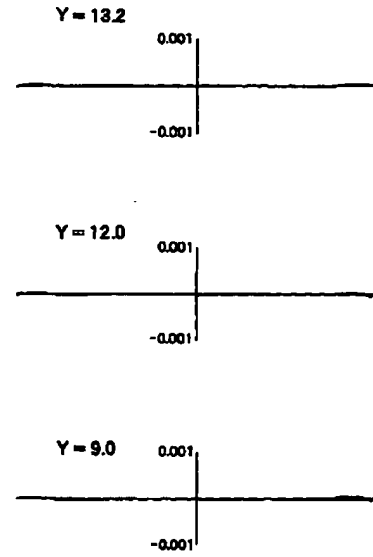
【図5】



【図6】



【図7】



【図8】

